

## **Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung von Erbsen und Sojabohnen in Süddeutschland**

Benedikt Paeßens<sup>1</sup>, Andreas F. Butz<sup>1</sup>, Georg Salzeder<sup>2</sup>, Peer Urbatzka<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Referat 11 – Pflanzenbau

<sup>2</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und  
Pflanzenzüchtung

<sup>3</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau,  
Bodenkultur und Ressourcenschutz

### **Zusammenfassung**

Die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung wird von Faktoren beeinflusst, wie Temperatur, Niederschlagsmenge und -verteilung, Bodenart, Nährstoffversorgung, Sorte, Rhizobienstamm, Krankheiten und Schädlingen. Die meisten Untersuchungen zur Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung der Sojabohnen stammen von den amerikanischen Kontinenten. Ein Ziel des von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Projektes „Optimierung des Anbaus von Sojabohnen – Bestimmung des Vorfruchtwertes und der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung sowie Reduzierung der Bodenbearbeitung“ war die Untersuchung der Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung unter süddeutschen Bedingungen. Die Feldversuche an drei Standorten wurden in 2015 bis 2017 durchgeführt.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die mit der erweiterten Differenzmethode bestimmte N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung von Sojabohnen und Erbsen in Süddeutschland zwischen 80 und über 300 kg N je ha liegt. Auf den beiden Standorten ohne Bewässerung war die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung von Soja immer höher als bei Erbsen. Über das Erntegut wurde bei beiden Kulturen mehr Stickstoff abgefahren als fixiert wurde. In den Ernteresiduen befinden sich Stickstoffmengen von 50 bis über 100 kg N je ha bei Soja und 20 bis 65 kg bei Erbsen. Dieser Stickstoff kann im ökologischen Landbau durch die Nachfrucht genutzt werden.

### **Abstract**

The N<sub>2</sub>-fixation performance of soybeans and peas is influenced by several factors, such as temperature, precipitation, rainfall distribution, soil type, nutrient supply, variety, rhizobacteria strain, and disease and pest pressure. To date, most experiments for the determination of the N<sub>2</sub>-fixation performance of soybeans have been conducted in either North or South America. Due to the different climatic conditions in Europe, the aim of this study was to determine the level of N<sub>2</sub> fixation under southern German conditions. Field trials were conducted at three experimental sites from 2015 to 2017.

N<sub>2</sub>-fixation ranged from 80 to more than 300 kg N ha<sup>-1</sup>, using the extended difference method. At two sites without irrigation, N<sub>2</sub>-fixation was higher for soybeans than for peas. More nitrogen was removed from the field with the harvest of both crops than was fixed by the crops themselves. Nevertheless, nitrogen content in the residues ranged from 50 to over 100 kg N ha<sup>-1</sup> for soybeans and from 20 to 65 kg for peas. This nitrogen can be used by the following crop, for example winter wheat.

## 1 Einleitung

Sojabohnen und Erbsen sind über eine Symbiose mit Knöllchenbakterien dazu in der Lage Stickstoff aus der Luft für ihr Wachstum und die Ertragsbildung zu nutzen. Die Menge des fixierten Stickstoffs wird als N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung bezeichnet. Sie ist für Landwirte von ökonomischer Bedeutung, da diese Kornertrag und -qualität mitbestimmt und in der Regel auf eine Stickstoffdüngung verzichtet werden kann. Die Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung ist allerdings von vielen Faktoren abhängig, wie beispielsweise von Klimafaktoren. Daher lassen sich viele Versuche von den amerikanischen Kontinenten über die Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung nicht ohne weiteres auf Europa übertragen. In Europa selbst gibt es nur wenige Versuche zur Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung. Daher wurde in einem Gemeinschaftsprojekt des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft der Frage der Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung in Süddeutschland nachgegangen. Das Projekt „Optimierung des Anbaus von Sojabohnen – Bestimmung des Vorfruchtwertes und der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung sowie Reduzierung der Bodenbearbeitung“ wird von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung gefördert.

## 2 Material und Methoden

Die Feldversuche wurden auf den drei Standorten Rheinstetten (konventionell bewirtschaftet), Forchheim am Kaiserstuhl und Hohenkammer (beide ökologisch bewirtschaftet) in den Jahren 2015 bis 2017 durchgeführt. Es wurden zwei Sojasorten (*ES Mentor* (00) und *Merlin* (000) und zwei Erbsensorten (*Alvesta* und *Respect* (konventionell) sowie *Alvesta* und *Salamanca* (ökologisch) auf die Höhe ihrer N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung untersucht. Dazu kam die erweiterte Differenzmethode nach Stülpnagel (1982) mit der Erweiterung III um den Blattfall nach Hauser (1987) zum Einsatz. Bei dieser Methode handelt es sich um eine Referenzmethode, bei der zunächst die Summe der gesamten aufgenommenen N-Menge in der Leguminose, bei Hinzurechnung des N<sub>min</sub> in der Parzelle zur Ernte, gebildet wird. Anschließend wird auf die gleiche Weise die N-Menge in einer Referenzfrucht ermittelt. Schließlich subtrahiert man die berechnete N-Menge der Referenzfrucht von der N-Menge der Leguminose und erhält so die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung (Gleichung 1).

$$\text{(Gleichung 1) } N_2\text{-Fixierungsleistung} = (N_{\text{Korn}} + N_{\text{Blatt}} + N_{\text{Spross}} + N_{\text{min}})_{\text{Leguminose}} \\ - (N_{\text{Korn}} + N_{\text{Blatt}} + N_{\text{Spross}} + N_{\text{min}})_{\text{Referenzfrucht}}$$

Als Referenzfrüchte für die Sojabohnen wurden die Silomaissorten *Ronaldinio* (S240) und *Saludo* (S210) ausgewählt. Für die Erbsen fiel an den Standorten Rheinstetten und Forchheim am Kaiserstuhl die Wahl auf eine Sommergerstensorte (*Grace*) und am Standort Hohenkammer auf eine Hafersorte (*Max*). Zur Bestimmung des Vorfruchtwertes der Sojabohnen- und Erbsensorten wurde auf den gleichen Versuchen zur ortsüblichen Zeit Winterweizen ausgesät. Da die Erbsensorten früher geerntet werden als die Sojasorten, gab es bei den Erbsensorten zusätzlich jeweils eine Variante mit Gelbsenf als Zwischenfrucht. Am Standort Rheinstetten wurde der Versuch bei Bedarf bewässert. Die Versuche wurden jeweils als Split-plot-Anlage mit vier Wiederholungen angelegt. Für die Berechnung der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung wurde bei allen Sorten der Kornertrag, der Blatt- und Sprossertrag sowie der N<sub>min</sub> zur Ernte bestimmt. In allen Pflanzenfraktionen wurde der N-Gehalt zur Berechnung der N-Menge erhoben. Die Auswertung erfolgte über ein gemischtes, hierarchisches Modell mit SAS proc mixed.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung, die wir an den süddeutschen Standorten gemessen haben, liegt in dem Bereich, der von Salvagiotti et al. (2008) zwischen 0 und 300 kg berichtet wird (Tab. 1). Insgesamt schwankt die Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung zwischen den Jahren und Orten, so lag beispielsweise die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung der Erbsen in Hohenkammer in den Jahren 2015 und 2016 stets niedriger als in Forchheim am Kaiserstuhl. Dagegen fällt auf, dass in Rheinstetten bei Bewässerung bei den Sojabohnensorten statistisch gesehen keine Unterschiede zwischen den Jahren bestehen. Es ist bekannt, dass die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung von vielen Faktoren abhängig ist. Dazu gehören etwa Klimafaktoren wie Temperatur und Niederschlag oder weitere Faktoren, wie Nährstoffversorgung, Bodenart, Krankheiten, Schädlinge, Sojabohnensorte, Bradyrhizobienstamm, etc.

Da es in Rheinstetten bei allen Sorten mit einer Ausnahme im Jahr 2017 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren gab, könnte dies darauf hindeuten, dass gerade die Wasserversorgung eine bedeutende Rolle bei der Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung spielt. Auf den beiden ökologisch bewirtschafteten Standorten ohne Bewässerung fiel die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung bei Soja immer höher aus als bei Erbsen.

*Tab. 1: N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung von Sojabohnen (Merlin und ES Mentor) und Erbsen (Alvesta, Respect und Salamanca) an den Standorten Rheinstetten, Forchheim am Kaiserstuhl und Hohenkammer in den Jahren 2015 bis 2017. Buchstaben geben signifikante Unterschiede am jeweiligen Standort an (Tukey-Test  $p < 0,05$ ).*

N <sub>2</sub> - Fixierungs- leistung in kg N ha <sup>-1</sup>	Rheinstetten (konventionell)			Forchheim a. K. (ökologisch)			Hohenkammer (ökologisch)*	
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016
Merlin	211 <sup>bc</sup>	178 <sup>cd</sup>	181 <sup>cd</sup>	184 <sup>BC</sup>	227 <sup>AB</sup>	310 <sup>A</sup>	194 <sup>b</sup>	198 <sup>b</sup>
ES Mentor	276 <sup>a</sup>	235 <sup>ab</sup>	237 <sup>ab</sup>	199 <sup>BC</sup>	264 <sup>AB</sup>	288 <sup>A</sup>	165 <sup>b</sup>	269 <sup>a</sup>
Alvesta	187 <sup>bc</sup>	208 <sup>bc</sup>	140 <sup>d</sup>	115 <sup>D</sup>	176 <sup>CD</sup>	186 <sup>CD</sup>	97 <sup>cd</sup>	132 <sup>c</sup>
Respect	179 <sup>bc</sup>	207 <sup>bc</sup>	156 <sup>cd</sup>	-----	-----	-----	-----	-----
Salamanca	-----	-----	-----	126 <sup>D</sup>	176 <sup>CD</sup>	128 <sup>CD</sup>	80 <sup>d</sup>	133 <sup>c</sup>

\* 2017 noch nicht ausgewertet

Die Höhe der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung alleine sagt allerdings nicht viel darüber aus, wie viel Stickstoff letztlich an eine Folgefrucht, wie beispielsweise Winterweizen, weitergegeben werden kann. In der Literatur wird bei Sojabohnen regelmäßig über eine höhere Stickstoffabfuhr des Erntegutes berichtet, als diese zuvor fixiert haben (Salvagiotti et al., 2008). Dies wird in unseren Versuchen bestätigt (Tab. 2). Der Anteil des fixierten Stickstoffs an der Stickstoffmenge, die über das Erntegut abgefahren wurde, betrug zwischen 80 und 96 Prozent. Also wird rechnerisch der gesamte fixierte Stickstoff von der Pflanze in den Kornertrag investiert und zusätzlich wird noch Stickstoff aus anderen Quellen benötigt. Bei den Erbsensorten können die Werte ebenfalls bis auf über 95 Prozent ansteigen. Der Anteil liegt jedoch in unseren Versuchen mit Ausnahme von

Forchheim a. K. in 2016 unter den Werten der Sojabohnen und ist damit etwas ungünstiger zu beurteilen.

Der Vorfruchtwert der Sojabohne, der über den Stickstoff generiert wird, wird in der Landwirtschaft oft sehr niedrig eingeschätzt. Unsere Ergebnisse zeigen allerdings, dass sich in den Ernteresiduen bei Soja Stickstoffmengen zwischen 50 und über 100 kg ha<sup>-1</sup> befinden. Diese können theoretisch der nachfolgenden Frucht zur Verfügung stehen. In unseren ökologisch bewirtschafteten Versuchen war dies auch der Fall. Der Winterweizen hatte bei allen Leguminosen höhere Erträge als bei den Referenzfrüchten. Gegenüber dem Silomais als Vorfrucht konnte der Winterweizen mit den Vorfrüchten Erbsen und Sojabohnen beispielsweise im Erntejahr 2017 in Hohenkammer um mehr als 20 dt ha<sup>-1</sup> höhere Erträge erzielen.

Tab. 2: N-Abfuhr über den Kornertrag, N-Menge in den Ernteresiduen und relativer Anteil der fixierten N-Menge an der N-Menge im Korn bei Sojabohnen (Merlin und ES Mentor) und bei Erbsen (Alvesta und Salamanca) an den Standorten Forchheim a. K. und Hohenkammer in den Jahren 2015 und 2016. Buchstaben geben signifikante Unterschiede am jeweiligen Standort und für die jeweilige Kultur (Sojabohnen (kleine) oder Erbsen (große)) an (Tukey-Test  $p < 0,05$ ).

Ort	Sojabohnen- und Erbsensorte	N-Abfuhr über Kornertrag [kg ha <sup>-1</sup> ]		N-Menge in Ernteresiduen [kg ha <sup>-1</sup> ]		Relativer Anteil [%] der fixierten N-Menge an der N-Menge im Korn	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
<b>Forchheim a. K. (ökologisch)*</b>	Merlin	208 <sup>a</sup>	248 <sup>a</sup>	60 <sup>a</sup>	67 <sup>a</sup>	88	92
	ES Mentor	249 <sup>a</sup>	273 <sup>a</sup>	56 <sup>a</sup>	79 <sup>a</sup>	80	96
	Alvesta	167 <sup>A</sup>	189 <sup>A</sup>	20 <sup>B</sup>	61 <sup>A</sup>	69	93
	Salamanca	167 <sup>A</sup>	181 <sup>A</sup>	21 <sup>B</sup>	63 <sup>A</sup>	75	97
<b>Hohenkammer (ökologisch)*</b>	Merlin	206 <sup>c</sup>	247 <sup>b</sup>	67 <sup>c</sup>	71 <sup>bc</sup>	95	80
	ES Mentor	196 <sup>c</sup>	300 <sup>a</sup>	82 <sup>ab</sup>	108 <sup>a</sup>	84	90
	Alvesta	126 <sup>B</sup>	165 <sup>A</sup>	43 <sup>BC</sup>	63 <sup>A</sup>	75	79
	Salamanca	103 <sup>C</sup>	177 <sup>A</sup>	40 <sup>C</sup>	55 <sup>AB</sup>	62	75

\* 2017 noch nicht ausgewertet

## 4 Literaturverzeichnis

Hauser S (1987) Schätzung der symbiotisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Dissertation Universität Göttingen.

Salvagiotti F, Cassman KG, Specht JE, Walters DT, Weiss A & Dobermann A (2008) Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crop Research* 108: 1-13.

Stülpnagel R (1982) Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Journal of Agronomy and Crop Science* 1514: 446-458.

Zitiervorschlag: Paeßens B, Butz A F, Salzeder G, Urbatzka P (2018): Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Erbsen und Sojabohnen in Süddeutschland. In: Wiesinger K, Heuwinkel H (Hrsg.): Angewandte Forschung und Entwicklung für den ökologischen Landbau in Bayern. Öko-Landbautag 2018, Tagungsband. –Schriftenreihe der LfL 5/2018, 45-48